

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ირმა ქათამაძე

თანამედროვე განათების საშუალებების ენერგოდაზოგვისა და ელექტროენერგიის
ხარისხის მაჩვენებლებზე გავლენის გამოკვლევა

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია, შიფრი 0405

თბილისი

2015 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის
ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტში

ხელმძღვანელი: პროფესორი თ. მუსელიანი

რეცენზენტები: -----

დაცვა შედგება ----- წლის "-----" -----, ----- საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის -----
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს
კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

სამუშაოს აქტუალობა. ეროვნული უსაფრთხოების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი შემადგენელი ნაწილია ქვეყნის ენერგეტიკული უსაფრთხოება, რომელსაც შესწევს უნარი საგანგებო პირობებში მოქალაქეები და მთლიანად სახელმწიფო დაიცვას ყველა სახის ენერგიისა და ენერგორესურსების დეფიციტის საშიშროებისაგან და უზრუნველყოს ქვეყნის საკმარისი და საიმედო ენერგომომარაგება, რომელიც საჭიროა მდგრადი ეკონომიკის მყარი განვითარებისა და მოსახლეობის კომფორტული პირობების დაკმაყოფილებისათვის

ამიტომ უკანასკნელ ათწლეულებში ელექტრომომარაგებაში მნიშვნელოვანი ყურადღება ეთმობა ენერგოდაზოგვისა და ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლების საკითხებს.

ენერგოდაზოგვა ანუ ჩვენს შემთხვევაში ელექტროენერგიის ეკონომია ეს არის სამართლებრივი, ორგანიზაციული, სამეცნიერო, საწარმოო, ტექნიკური და ეკონომიური ზომების რეალიზაცია, რომელიც მიმართულია სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების ეფექტურ (რაციონალურ) გამოყენებაზე და სამეურნეო ბრუნვაში ენერგიის განახლებადი წყაროების ჩარევაზე. ამიტომ ენერგოდაზოგვის თემა ასევე აქტუალურია თანამედროვე საბაზრო ეკონომიკის პირობებთან დაკავშირებით.

ენერგოდაზოგვის დარგში ტექნიკური საშუალებებისა და ღონისძიებების ანალიზისათვის, დამუშავებისა და დანერგვისათვის საჭიროა გათვალისწინებული იქნას ელექტროენერგის დანაკარგების ყველა მდგენელი და მათი წარმოშობის მიზეზები.

საერთო დანიშნულების ელექტრულ ქსელებში დანაკარგების ძირითადი მიზეზები ცნობილია და გამოკვლეულია.

უკანასკნელ ხანებში თანამედროვე მრავალფუნქციური საზომი საშუალებების, ელექტრული რეჟიმების მაჩვენებლებისა და ელექტრონული გამომთვლელი მანქანების გამოჩენისა და გავრცელების გამო შესაძ-

ლებელია იმ დამატებითი ფაქტორების ღრმა ანალიზი და აღრიცხვა, რომელთა შეფასება ადრე ძალიან ძნელი ან სულაც შეუძლებელი იყო.

დამატებითი და ნაკლებად გამოკვლეული ფაქტორების რიცხვს მიეკუთვნება ელექტროენერგიის დაბალი ხარისხი და სახელდობრ, ძაბვისა და დენის არასინუსოიდურობა.

ელექტრომომარაგებაში ძაბვისა და დენის არასინუსოიდურობა პირველ რიგში დაკავშირებულია არაწრფივი დატვირთვის მქონე საყოფაცხოვრებო ელექტრომიმღებების რაოდენობისა და დადგმული სიმძლავრის გაზრდასთან.

არაწრფივი დატვირთვების დენის მრუდის ფორმა ძლიერ განსხვავდება სტანდარტული სინუსოიდური ფორმისაგან და შეიცავს უმაღლესი ჰარმონიკების სპექტრს, რაც უარყოფითად მოქმედებს მკვებავი ქსელის პარამეტრებზე, ელექტროენერგიის ხარისხზე და სხვა ელექტრომიმღებების მუშაობის პირობებზე.

ასეთივე სიტუაციაა განათების ელექტრულ ქსელებშიც. ხდება ძველი ვარვარა ნათურის შეცვლა კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურებით, რომელთა მიერ ელექტროენერგიის მოხმარება 4-ჯერ ნაკლებია ვიდრე ვარვარა ნათურისა, ასევე პროექტირდება განათების ახალი სისტემები კომპლექტური ლუმინესცენციური და ლუმინესცენციური ნათურების გამოყენებით.

ელექტროენერგიის ეკონომიისა და ატმოსფეროში ნახშირმჟავა გაზის გამონაბოლქვის შემცირების საჭიროების მიზნით, 2009 წლის 1 სექტემბრის 2005/32/ დირექტივის შესაბამისად ევროკავშირში ძალაში შევიდა ვარვარა ნათურების წარმოების ეტაპობრივი აკრძალვა. ამით ევროკავშირი ბრძოლას უცხადებს გლობალურ დათბობას.

ენერგოდაზოგვის მსგავსი სტრატეგია საშუალებას იძლევა ევროკავშირის ქვეყნების ერთ საშუალო ოჯახში წელიწადში დაიზოგოს 50-160 ევრო. ევროკავშირის მასშტაბით ეს შეადგენს 5-10 მლრდ ევროს.

ვარვარა ნათურების მაგიერ კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების გამოყენებას უახლოეს მომავალში დიდი პერსპექტივები გააჩნია.

მეცნიერთა მიერ ძირითადი კვლევები მიმართული იყო სხვადასხვა სახის ელექტრომიმღებების ელექტრული ქსელის კვანძებში ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლებზე გავლენის შეფასებისაკენ. ჩატარებულ სამუშაოებში გამოკვლეულია ელექტროენერგიის ხარისხის შემცირების დროს ელექტრული ქსელების მუშაობის რეჟიმები და შედგენილია სხვადასხვა დატვირთვებისა და ელემენტების მოდელები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან პროექტირების სტადიაზე განსაზღვრული სიზუსტით შეფასდეს ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლები, ასევე შემუშავებული იქნას ელექტროენერგიის ხარისხის გაუმჯობესების ღონისძიებები.

გამოკვლევების თანახმად, ელექტრულ ქსელებში უმაღლესი ჰარმონიკების მიერ გამოწვეული აქტიური სიმძლავრის დამატებითი დანაკარგები შეადგენენ სინუსოიდური ძაბვის დროს გამოწვეული დანაკარგების 9 %-ს.

შუქტექნიკაში ნახევარგამტარული ტექნოლოგიების დანერგვით დაიწყო ახალი შუქდიოდური სინათლის წყაროების განვითარება, რომლებიც ხასიათდებიან არაწრფივი ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების მქონე ელექტრონულ გამშვი-მარეგულირებელი აპარატურით. ელექტროენერგიის ხარისხის პრობლემა განპირობებულია დენის უმაღლესი ჰარმონიული მდგენელების მომხმარებლის ელექტრომომარაგების სისტემების მუშაობაზე მზარდი გავლენით.

გარე განათების ელექტრული ქსელებისათვის არ არსებობს ნორმატიული ბაზა, რომელიც იქნებოდა პროექტირებისა და შუქდიოდური სანათების ექსპლუატაციის მოთხოვნების მარეგლამენტირებელი. ამასთანავე არსებობს ქუჩის განათების 0,4 კვ ძაბვის მიერთების წერტილში ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის ნორმირებული,

ნორმალურად და ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები, რომლებიც შესაბამისად შეადგენენ 8,0 % და 12,0 %. 0,4 კვ ქსელებისათვის ძაბვის n-ური რიგის ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტი ნორმირებულია თითოეული ჰარმონიკისათვის (სტანდარტით დადგენილია ნორმები მე-40 რიგის ჰარმონიკის ჩათვლით).

სინათლის წყაროებიდან დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიული მდგენელების მომხმარებლის ელექტროდანადგარების მუშაობაზე ზემოქმედების საკითხი მეტად აქტუალურია, 0,4 კვ ძაბვის ქსელებში დენის უმაღლესი ჰარმონიკები დატვირთვის კვანძებში იწვევენ ძაბვის მკვეთრ ნახტომებს დასაშვებზე მეტად, ტექნოლოგიური მოწყობილობების მწყობრიდან გამოსვლას, მოწყობილობის სწრაფ დაძველებას, ელექტროენერგიის აღრიცხვის ხელსაწყოების გაზომვის ცდომილების გაზრდას, მატერიალურ დანახარჯებს, არღვევენ გარემოს ეკოლოგიურ უსაფრთხოებას და იწვევს ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერგიის დამატებით დანაკარგებს.

სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს თანამედროვე განათების საშუალებების, როგორც უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების წყაროს გამოკვლევა და ამ ჰარმონიკების მიერ ელექტრულ ქსელში წარმოშობილი დამახინჯების სიმძლავრით გამოწვეული ელექტროენერგიის დანაკარგების განსაზღვრა.

საკვლევ ობიექტად შერჩეული იქნა როგორც წრფივი, ასევე არაწრფივი მახასიათებლების მქონე სანათი საშუალებები, რომლებზეც ექსპერიმენტული სამუშაოები ჩატარებული იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სატრანსფორმატორო ქვესადგურში SCADA სისტემის გამოყენებით.

კვლევის მეთოდები. სადისერტაციო სამუშაოს შესასრულებლად გამოყენებული იქნა შემდეგი მეთოდები: ოთხპოლუსებისა და გრძელი ხაზების თეორია ელექტროტექნიკიდან, ელემენტების მიხედვით გაანგარიშების, ჰარმონიკების ანალიზი ფურიეს მწკრივის გამოყენებით, საშუალო დატვირთვის, მატრიცული და სტატისტიკური მეთოდები.

სამუშაოს სამეცნიერო სიახლეს წარმოადგენს: საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში დამონტაჟებული SCADA სისტემის გამოყენებით თანამედროვე განათების სისტემის დატვირთვით გამოწვეული დამახინჯების სიმძლავრისა და ამ სიმძლავრით გამოწვეული ელექტროენერგიის დანაკარგების დონის განსაზღვრა.

სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა. სადისერტაციო სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა შემდეგში მდგომარეობს:

1. წარმოდგენილია თანამედროვე განათების სისტემების დატვირთვით გამოწვეული ელექტროენერგიის დანაკარგების გაანგარიშების, ანალიზისა და ნორმირების პრობლემები და მათი პრაქტიკულად გადაწყვეტის გზები.

2. SCADA სისტემის საარქივო მონაცემების მიხედვით ნებისმიერ დროს შესაძლებელია განისაზღვროს დამახინჯების სიმძლავრეები, რომლებიც დიდ გავლენას ახდენენ ელექტროენერგიის განაკარგებზე.

სამუშაოს აპრობაცია. სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი დებულებები გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო სტატიაში. ასევე მოხსენებული იქნა მე-2 საერთაშორისო კონფერენციაზე „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ 2013 წელს.

დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შედგება შესავალისა და 5 თავისაგან, რომლებიც გადმოცემულია 136 გვერდზე. შეიცავს 39 ნახაზს, 11 ცხრილს და 56 დასახელების ლიტერატურას.

სამუშაოს ძირითადი შინაარსი

შესავალში დასაბუთებულია პრობლემის აქტუალობა, ჩამოყალიბებული და განსაზღვრულია გამოსაკვლევი საკითხები, ასევე კვლევის მიზანი და ამოცანები. ფორმულირებულია ნაშრომის მეცნიერულ სიახლეთა და პრაქტიკული მნიშვნელობის ძირითადი ასპექტები.

ნაშრომის პირველ თავში მოყვანილია ლიტერატურული მიმოხილვის შედეგები.

ლიტერატურული მასალის ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ ვარვარა ნათურებისა და სხვა დაბალეფექტური სანათების შეცვლა წარმოადგენს ბაზისურ ენერგოდამზოგ ღონისძიებას. მაგრამ განათების სისტემის დაბალი ენერგეტიკული ეფექტურობა განპირობებულია ასევე სანათების არარაციონალური გამოყენებით.

არსებობს განათების სხვადასხვაგვარი სისტემების დიდი რაოდენობა, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან, დანიშნულებით, ფუნქციონირების პრინციპით, ტექნიკური მახასიათებლებითა და ეფექტურობით. მოყვანილია ყველაზე უფრო გავრცელებული განათების სისტემების მოკლე აღწერა, მათი დადებითი და უარყოფითი მხარეები.

ნაშრომის მეორე თავი დათმობილი აქვს დაბალეფექტური სანათებისა და ნათურების ენერგოდამზოგი ნათურებით შეცვლის ეფექტურობის შეფასების მეთოდიკას.

ბაზარზე დიდი რაოდენობის სხვადასხვა სახის მაღალეფექტური ნათურების არსებობა კმნის დაბალეფექტური სანათებისა და ნათურების ენერგოდამზოგით შეცვლის შეფასების მეთოდიკის დამუშავების საჭიროებას, რომელიც მოგვცემს საშუალებას შევაფასოთ როგორც ნატურალური დადებითი ეფექტი, ასევე ფინანსური. ნაშრომში წარმოდგენილია ძირითადი პირობები, რომლებიც შესრულებული უნდა იქნას სანათებისა და ნათურების ენერგოდამზოგით შეცვლის ეფექტურობის შეფასების მეთოდიკის დამუშავებისას.

მეთოდის კომპლექსურობა მდგომარეობს იმაში, რომ ერთობლიობაში მოჰყავს საბაზრო-ენერგოდამზოგი ღონისძიებები, რომელთაც გააჩნიათ უნარი განათების საჭიროებისათვის ელექტროენერგიის მოხმარების შემცირებისა და სანათების მუშაობის ხანგრძლივობის არსებითად გაზრდის ხარჯზე აამაღლონ მთლიანად ორგანიზაციის ენერგოეფექტურობა.

თითოეული ტიპის ობიექტისა და გარემოს მნიშვნელოვანი ამოცანაა უზრუნველყოს ოპტიმალური განათებულობის დონე და სინათლის სპექტრალური შედგენილობა.

სანათებისა და ნათურების შეცვლა ხორციელდება იმ პრინციპით, რომ ვარვარა ნათურის ენერგოდამზოგი ნათურით შეცვლის დროს უზრუნველყოფილი იქნეს ვარვარა ნათურის მიერ შექმნილი E განათებულობის დონე, ანუ ნათურის შეცვლის აუცილებელი პირობაა:

$$E_{62} = E_{61} \quad (1)$$

იმ პირობით, თუ ნათურების სინათლის ნაკადი ყველა მიმართულებით თანაბრად არის განაწილებული, მაშინ ნათურების ეკვივალენტური განათებით შეცვლის პირობა შემდეგია:

$$\Phi_{62.პასპ.} = \Phi_{61} \quad (2)$$

ნათურის სინათლის $\Phi_{62.პასპ.}$ ნაკადის მნიშვნელობა მიეკუთვნება ნათურის საპასპორტო მონაცემებს.

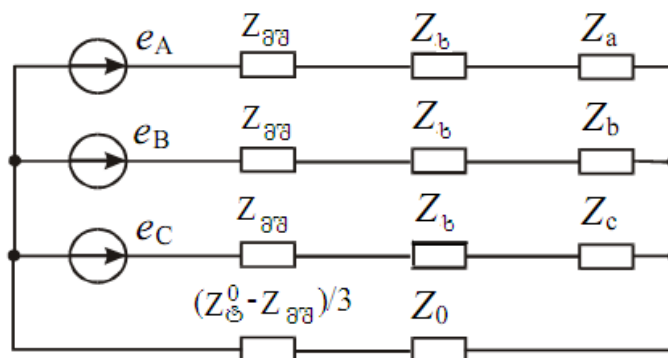
ამგვარად, ვარვარა ნათურის ენერგოდამზოგი ნათურით შეცვლისათვის საჭიროა შევირჩიოთ ენერგოდამზოგი ნათურებიდან (აირგანმუხტვის, გოგირდიანი, შუქდიოდური) ერთ-ერთი, რომლის სინათლის ნაკადის საპასპორტო მონაცემი ტოლი იქნება ვარვარა ნათურის სინათლის ნაკადისა [(2) პირობა].

ამ დროს საჭიროა დადასტურება, რომ ენერგოდამზოგი ნათურა შესაბამება არსებული მოთხოვნილებით საწარმოო გარემოს, სამუშაო პირობებს, მათ რიცხვში სტანდარტებისა და სანიტარული ნორმების მოთხოვნებს.

ნაშრომის მესამე თავში წარმოდგენილია დაბალი ძაბვის არაწრფივი დატვირთვის მქონე ქსელების რეჟიმების მოდელირების, დამახინჯების სიმულაციებისა და მათი ანალიზის საკითხები.

დღეისათვის ცნობილია არაწრფივი დატვირთვის მქონე დაბალი ძაბვის ქსელების სხვადასხვა მათემატიკური მოდელი, რომლებიც საშუალებას იძლევა განისაზღვროს როგორც დენის ასევე ძაბვის სინუსოიდურობის დამახინჯება. ცნობილი მოდელებიდან ყველაზე უფრო მარტივი საშუალებაა განისაზღვროს ნაჩვენები დამახინჯებანი არაწრფივი დატვირთვის წილის სიდიდისა და მოდელირებული არაწრფივი მომხმარებლების პარამეტრების მიხედვით.

დაბალი ძაბვის ელექტრომომარაგების სქემა ძირითადად არის სამფაზა ნულოვანი გამტარით, ხოლო მომხმარებელთა უმეტესობა არის ერთფაზა. დაბალი ძაბვის ქსელების აგების თავისებურებიდან გამომდინარე მისი ჩანაცვლების სქემას აქვს ნახ.1-ზე წარმოდგენილი სახე.



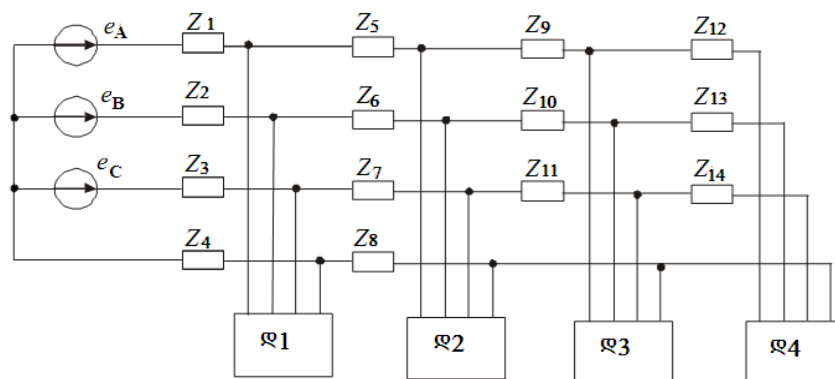
ნახ.1. დაბალი ძაბვის სამფაზე ქსელის ჩანაცვლების სქემა

სადაც e_A, e_B, e_C – ემძების სამფაზა სიმეტრიული სისტემა; $Z_{გვ}$, Z_0^0 – მოკლედ შერთვისა და ტრანსფორმატორის ნულოვანი თანმიმდევრობის წინაღობებია; Z_0 და Z_b ნულოვანი და ფაზური გამტარების წინაღობებია; Z_a, Z_b, Z_c – სამი ნებისმიერი სიდიდის დატვირთვის წინაღობაა, რომელთა ქვეშაც მოიაზრება ხსენებული დატვირთვის არაწრფივი ელემენტები.

წარმოდგენილი მოდელები დაბალი ძაბვის ავტონომიურ და გამანაწილებელ ქსელებში ელექტრომაგნიტური პროცესების ანალიზისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნას იმ პირობის დროს, რომ დატვირთვა თავმოყრილია ერთ კვანძში.

დაბალი ძაბვის ქსელების ჩანაცვლების დახვეწილი სქემა რთულდება დამატებით შენობის შიდა ელექტრული ქსელის ძირითადი ელემენტებისა და ელექტრომიმღებების შესაბამისი ჯგუფების მხედველობაში მიღებით, რომლებიც ჩაირთვებიან მათ დამახასიათებელ დატვირთვის კვანძებში.

ასეთი ქსელის რეჟიმების მოდელირებისა და ანალიზის ჩატარებისათვის ოპტიმალურია ის ჩანაცვლების სქემა, რომელიც მხედველობაში იღებს ოთხ მთავარ გამანაწილებელ ფარს, გამანაწილებელ ფარს და ჯგუფური ქსელის ორ კვანძს (როზეტებს). ამასთან დაკავშირებით განხილული იქნა დაბალი ძაბვის ქსელის გაშლილი ჩანაცვლების სქემა, რომელიც წარმოდგენილია ნახ.2-ზე.

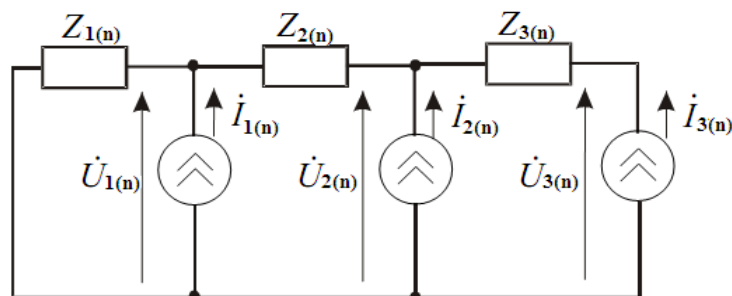


ნახ.2. დაბალი ძაბვის ქსელის გაშლილი ჩანაცვლების სქემა

სადაც e_A, e_B, e_C – ემძების სამფაზა სიმეტრიული სისტემა; Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 – გარე მკვებავი ქსელის ჯამური (ტრანსფორმატორი – ხაზი) გრძივი წინაღობებია; Z_5, Z_6, Z_7, Z_8 – შენობის განათების ქსელის კაბელების ფაზური და ნულოვანი ძარღვების წინაღობებია მთავარი გამანაწილებელი ფარიდან გამანაწილებელ ფარამდე; $Z_9, Z_{10}, Z_{11}, Z_{12}, Z_{13}, Z_{14}$ – ხაზის ცალკეული უბნის ჯამური (შესაბამისად ფაზა-ნული) წინაღობაა განათების ქსელის გამანაწილებელი ფარიდან კონკრეტულ ელექტრომიმღებამდე (ჯგუფური ქსელი); $\text{დ1}-\text{დ4}$ დატვირთვის ბლოკებია. არაწრფივი

დატვირთვის მქონე დაბალი ძაბვის ქსელის მოდელი, ცნობილი მოდელებისაგან განსხვავებით, საშუალებას იძლევა ამ მოდელირებული ქსელის ნებისმიერ წერტილში ჩართული ელექტრომიმღებების მომჭერებზე განისაზღვროს დენებისა და ძაბვების მრუდების სინუსოიდურობის დამახინჯების მნიშვნელობები. გაანგარიშებით მიღებული მნიშვნელობები საშუალებას იძლევა შევადაროთ და შევაფასოთ ერთმანეთს დენებისა და ძაბვების უმაღლესი ჰარმონიკების დონეები ქსელის ელემენტის ნებისმიერ განსახილველ ჩანაცვლების სქემაში ელექტრომიმღებების შედგენილობისა და მისი შესრულების სხვადასხვა ვარიანტის დროს.

ამასთანავე უნდა გავითვალისწინოთ ტრადიციული მოდელები, რომლებშიც არაწრფივი დატვირთვები მოცემულია უმაღლესი ჰარმონიკების დენის წყაროებით. ნახ.3-ზე მოცემულია ჩანაცვლების სქემა უმაღლესი ჰარმონიკების დენის წყაროებით ერთფაზა ვარიანტში, ქსელის ელემენტებისა და დატვირთვის სიმეტრიულობის დაშვების გათვალისწინებით, რომელიც შეესაბამება ნახ.2-ზე მოცემულ გაშლილ ჩანაცვლების სქემას.



ნახ.3. ჩანაცვლების სქემა უმაღლესი ჰარმონიკების დენის წყაროებით.

ნახ.3-ზე წარმოდგენილი ჩანაცვლების სქემა შეიძლება აღიწეროს შემდეგი განტოლებათა სისტემით:

$$\begin{cases} \dot{U}_{1(n)} = -[\dot{I}_{1(n)} + \dot{I}_{2(n)} + \dot{I}_{3(n)}] Z_{1(n)}; & (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{U}_{2(n)} = \dot{U}_{1(n)} - [\dot{I}_{2(n)} + \dot{I}_{3(n)}] Z_{2(n)}; & (2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{U}_{3(n)} = \dot{U}_{2(n)} - \dot{I}_{3(n)} Z_{3(n)}. & (3) \end{cases}$$

წარმოდგენილი გამოსახულების ანალიზი საშუალებას გვაძლევს ჩანაცვლების სქემის ელემენტების გათვალისწინებით ელექტრული ქსელის ნებისმიერ დატვირთულ კვანძში განისაზღვროს ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების მექანიზმი და მაფორმირებელი მდგენელები.

ელექტროენერგეტიკაში ურთიერთანგარიშსწორების მიზნით ასევე ძალიან მნიშვნელოვანია როგორც სიმძლავრისა და ელექტროენერგიის გაზომვა, ასევე ელექტროენერგიის ხარისხის ანალიზი. ზოგადად ელექტროენერგიის ხარისხს შეაქვს ცდომილება გასაზომი სიმძლავრის სიდიდესა და საზომი ხელსაწყოების მუშაობაში. ამიტომ არასინუსოიდური დენებისა და ძაბვების დროს სიმძლავრეთა გაზომვის შემთხვევაში მხედველობაში უნდა მივიღოთ უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების გავლენა აქტიურ, რეაქტიულ და სრულ სიმძლავრეზე.

ნაშრომში ერთი კონკრეტული ობიექტის მაგალითზე ელექტროენერგიის მონიტორინგის სისტემა SCADA-ს გამოყენებით დადასტურებული იქნა კონკრეტულ ობიექტის ელექტრულ ქსელებში დამახინჯების სიმძლავრის არსებობა. განსაზღვრული იქნა ამ დამახინჯების სიმძლავრის სიდიდე და ამ სიმძლავრით გამოწვეული აქტიური სიმძლავრისა და ელექტროენერგიის თვითური დანაკარგები მკვებავ ელექტრულ ქსელში.

ელექტრული წრედების თეორიის საფუძველზე მიღებული იქნა ძაბვისა და დენის ფურიეს მწკრივად დაშლის შედეგების საფუძველზე, ძაბვისა და დენის მრუდების ფურიეს მწკრივად დაშლის მეთოდის გამოყენებით

მიღებული იქნა დამახინჯების სიმძლავრის გასაანგარიშებელი გამოსახულება:

$$T = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n U_i I_j [U_i I_j - U_j I_i \cos(\varphi_i - \varphi_j)] + U_j I_i [U_j I_i - U_i I_j \cos(\varphi_i - \varphi_j)]}$$

(4)

(4) გამოსახულება იძლევა საშუალებას ელექტრულ წრედში დამახინჯების სიმძლავრე განისაზღვროს პირდაპირ ძაბვისა და დენის ოსცილოგრაფებიდან სრული აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების წინასწარი განსაზღვრის გარეშე.

ეს გამოსახულება იძლევა ასევე ელექტრულ წრედში მიმდინარე პროცესების ანალიზის ჩატარების საშუალებას. მაგალითად, ამ გამოსახულებიდან ცხადად ჩანს, რომ დამახინჯების სიმძლავრე ნულის ტოლია იმ შემთხვევაში, როცა დენისა და ძაბვის ჰარმონიკების საწყისი ფაზები ერთმანეთის ტოლია $\varphi_i = \varphi_j$ და როცა ძაბვისა და დენის ჰარმონიკების მოქმედი მნიშვნელობების ფარდობა ტოლია: $\frac{U_i}{I_j} = \frac{U_j}{I_i}$.

ნაშრომის მეოთხე თავი ეძღვნება განათების ქსელების რეჟიმების გაანგარიშების, მართვისა და მონიტორინგის საკითხებს.

გარე განათების დანადგარები ქალაქებისა და დასახლებული პუნქტების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ელემენტია. ისინი ბევრად უზრუნველყოფენ ავტოტრანსპორტისა და ფეხით მოსიარულეთა მოძრაობის უსაფრთხოებას, ქუჩებისა და მოედნების სივრცეში ადამიანების მხედველობით ორიენტაციას, ასევე ღამის საათებში დასახლებული პუნქტის გარეგან სახეს.

ელექტრონული გამშვი-მარეგულირებელი აპარატურისა და განათების მართვის სისტემების შექმნის წყალობით დაიწყო ელექტრონიკის ფართო დანერგვა განათებაში, რამაც მიგვიყვანა სანათი ხელსაწყოების პარამეტრების, განათების ხარისხის სწრაფ გაუმჯობესებასთან და ელექტროენერგიის ეკონომიასთან. მათი დანერგვა განპირობებულია იმით, რომ თანა-

მედროვე სინათლის წყაროები საჭიროებენ არა სტანდარტულ 220 ვ ძაბვას, არამედ სპეციალურად გარდაქმნილს.

ნახევარგამტარული ტექნოლოგიების განვითარებასთან ერთად ცხადი გახდა, რომ გარე განათებაში ელექტროენერგიის ხარჯის შემცირება შესაძლებელია არა მხოლოდ განათების დანადგარებში სინათლის წყაროების ნაწილობრივი ან მთლიანი გამორთვით, არამედ უფრო მაღალეფექტური სინათლის წყაროებისა და რაციონალური შუქგანაწილების მქონე სანათების დანერგვის გზითაც.

ასეთ მოთხოვნებს მაქსიმალურად შეესაბამებოდა შუქდიოდური სანათები. რომელთაც გააჩნიათ უნარი კონკურენცია გაუწიოს ისეთ მოწინავე სინათლის წყაროებს, როგორებიცაა კომპაქტური ლუმინესცენციური და DNaT ტიპის ნათურები. ეს სანათები მოიხმარენ მცირე სიმძლავრეს და აქვთ ბუნებრივი განათებულობის დონის მიხედვით სინათლის ნაკადის ცვლილების უნარი, რაც იძლევა საშუალებას არსებითად შევამციროთ ელექტროენერგიის მოხმარება.

სანათი ხელსაწყოების ეკონომიურობის უზრუნველყოფა მათი ეფექტიანობის უზრუნველყოფის მეორე მნიშვნელოვანი პრობლემაა. არსებითი მნიშვნელობა აქვს დასაპროექტებელი სანათი დანადგარების მაჩვენებლების მიღებული ერთიანობის უზრუნველსაყოფად სხვადასხვა საინჟინრო მეთოდებისა და ხერხების მოქნილი გამოყენების ამოცანების გადაწყვეტას. სახელდობრ, ბუნებრივი განათებულობის დონის მიხედვით სანათი ხელსაწყოების ჩართვა/გამორთვა.

განათების მართვის სისტემების მოდერნიზაციამ უნდა შეასრულოს შემდეგი ფუნქციები:

- სინათლის წყაროს დომინირების ხარჯზე ცუდი ამინდის, ღრუბლიანობისა და დაბნელების დროს უზრუნველყოს მუდმივი განათებულობა;

- ერთი სახის სანათი ხელსაწყოთი სხვადასხვა წერტილებში უფრო მისაღები განათებულობის მისაღებად უზრუნველყოს ავტომატური რეგულირების შესაძლებლობა.

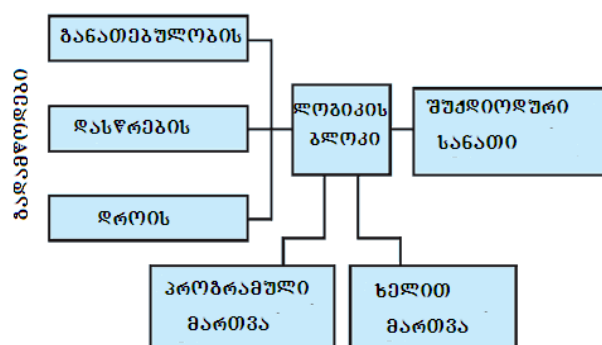
- გაითვალისწინოს ადამიანების დასწრება და ავტოტრანსპორტის ნაკადის ინტენსივობა და ღამის გარკვეულ საათებში გამორთოს ის სანათები, რომელთა განლაგება პრინციპულ გავლენას არ ახდენს განათებულობის საერთო დონეზე და უსაფრთხოებაზე.

- გაითვალისწინოს დღე-ღამის, წლის, კვირის დრო და მოახდინოს თითოეული წყაროს სინათლის ნაკადის ინდივიდუალური რეგულირება.

- სინათლის ნაკადის რეგულირება უნდა მოხდეს როგორც ავტომატურად – განათების, დასწრებისა და დროის გადამწოდებიდან, ასევე ხელით (უშუალოდ მომუშავის მიერ).

ნახ.4.-ზე წრმოდგენილია განათების მართვის სისტემების სტრუქტურული სქემა.

ანალოგიური მართვის სისტემებში ხელით მართვის ბრძანებები ან განათებულობის, დასწრებისა და დროის გადამწოდების სიგნალები მიეწოდება კვების ნახევარგამტარული ბლოკის მმართველ შესასვლელზე 0-10 ვოლტის მუდმივი ძაბვის სახით, რაც იწვევს ნათურების სინათლის ნაკადის შესაბამის ცვლილებას.



ნახ.4. განათების მართვის სისტემის სტრუქტურული სქემა.

განათებულობის გადამწოდად შეიძლება გამოყენებული იქნეს ნებისმიერი სინათლის მგრძნობიარე ხელსაწყო. ჩვეულებრივ ეს არის ფოტო-

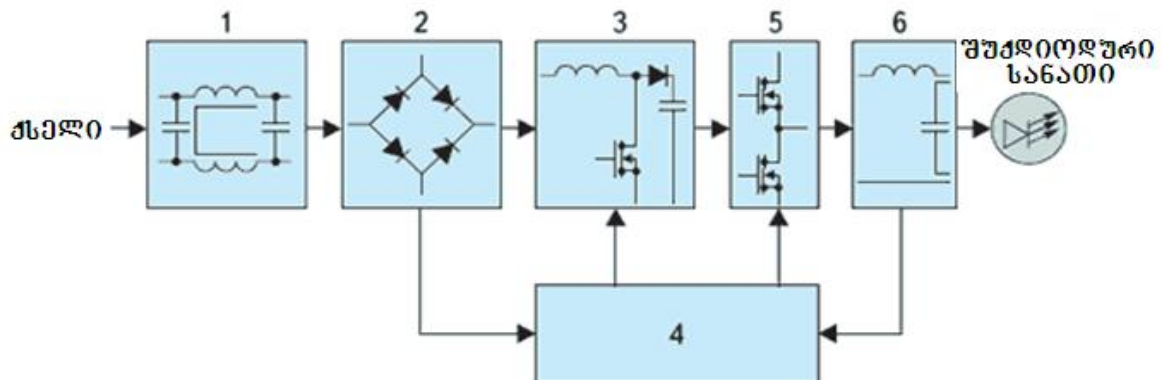
დიოდი ან ფოტორეზისტორი. მათ შეუძლიათ ბუნებრივი განათებულობის დონის მიხედვით შეცვალონ ნათურების ნაკადი ისე, რომ განათებულობა დარჩეს მუდმივი. განათების დონის დაყენება ხდება გადამწოდების დაყენებისას. გაუმჯობესებული ხელსაწყოები გარდა განათებულობის გადამწოდებისა, შეიცავენ ასევე დასწრების გადამწოდებსაც.

ხელით მართვა, როგორც წესი, ხორციელდება დისტანციურად ცენტრალური სადისპეტჩერო პუნქტიდან ინფრაწითელი გამოსხივების მქონე პულტების საშუალებით.

კონსტრუქციულად შუქდიოდური სანათი შედგება ორი ბლოკისაგან – სინათლის გამოსხივებელი ნაწილი და კვების ნახევარგამტარული ბლოკი, რომელსაც დრაივერი ანუ მმართველი ელემენტი ეწოდება. ნახ.5-ზე ნაჩვენებია თანამედროვე კვების ნახევარგამტარული ბლოკის სტრუქტურული სქემა, რომელიც შეიცავს ყველა ძირითად კვანძს. ფაქტიურად კვების ნახევარგამტარული ბლოკის სქემებს შორის განსხვავება ძირითადად მდგომარეობს მმართველი კასკადის პრინციპულ სქემასა და მაღალსიხშირული დაბრკოლებების დამხშობი ფილტრის ტიპში, რადგანაც დანარჩენი კვანძები ამჟამად იმდენად არის დამუშავებული, რომ პრაქტიკულად უნიფიცირებულია. ამ დროს დრაივერების ელექტროტექნიკური შესაძლებლობები მნიშვნელოვნად აღემატებიან ჩვეულებრივი გამშვი-მარეგულირებელი აპარატურის შესაძლებლობებს. მაგალითად, დრაივერს აქვს უნარი ძაბვის მნიშვნელოვანი რხევების დროს 70-150 %-ის ფარგლებში (154-330 ვ) შუქდიოდების წყობაზე შეინარჩუნოს ძაბვისა და დენის მოთხოვნილი პარამეტრები. ამ დროს ძაბვის გადახრა 220 ვ-დან არავითარ გავლენას არ ახდენს დრაივერისა და შუქდიოდების მუშაობის ხანგრძლივობაზე.

აქედან გამომდინარე შუქდიოდების ბაზაზე ქუჩის განათების ქსელის დაპროექტების დროს იხსნება მთავარი შემზღუდველი ფაქტორი – შემოწმება ძაბვის ვარდნის მიხედვით. ჩნდება შესაძლებლობა შეიქმნას მნიშვნელოვნად დიდი სიგრძის განათების ქსელები, ხოლო ქალაქის არსე-

ბული ქსელების მოდერნიზაციის დროს უბრალოდ რამდენიმე არსებული ხაზი მიმდევრობით გავაერთიანოთ.



სახ.5. კვების ნახევარგამტარული წყაროს სტრუქტურული სქემა: 1- მაღალსიხშირული დაბრკოლებების ჩამოშობი შესასვლელი ფილტრი, 2- გამმარტველი, 3- ელექტრული ქსელიდან მოხმარებული დენის ფორმის კორექტორი, 4- მმართველი კასკადი, 5- სიმძლავრის მაძლიერებელი, 6- გამოსასვლელი კასკადი.

განათების ქსელის ჯგუფური ხაზების საშუალო სიგრძის გაზრდა ფართომასშტაბიან პერსპექტივებს ქმნის ქალაქის განათების ქსელის აშენების კონცეფციის ცვლილებისათვის. სატრანსფორმატორო ქვესადგურების სიმძლავრის შენარჩუნების დროს მნიშვნელოვნად იზრდება მათი დაფარვის ფართობი. ეს ნიშნავს, რომ ჩნდება შესაძლებლობა ქალაქის განათების ქსელის ექსპლუატაციიდან გამოვიყვანოთ არსებული სატრანსფორმატორო ქვესადგურებისა და გამანაწილებელი პუნქტების დაახლოებით მესამედი.

ამასთანავე ელექტროტექნიკის თვალსაზრისით ასეთი სისტემების შექმნის დროს ძირითად სირთულეს წარმოადგენს არსებული რაიონის მკვებაჲ ქსელში ელექტრომაგნიტური მდგომარეობის გაანგარიშება, რადგან ერთი მხრივ, შუქდიოდური სანათების კვების ნახევარგამტარული ბლოკები გენერირებენ დენის ჰარმონიულ მდგენელებს და ასევე მეორე მხრივ თვით მკვებაჲ ქსელში შეიძლება იყოს არასინუსოიდური დენი.

დენის სინუსოიდური მრუდის დამახინჯების არეში მწარმოებლების ორიენტაცია მიმართულია არასინუსოიდურობის საერთო კოეფიციენტზე. ეს ფაქტორი გვიჩვენებს დენის რეალური ფორმის გადახრას იდეალური სინუსოიდისაგან და იზომება პროცენტებში.

ამავე თავში განხილულია დისპეტჩერული მართვისა და მონიტორინგის სისტემა SCADA, რომელიც ელექტროენერგეტიკის დარგში ძირითადად გამოიყენება შემდეგი საკითხების კონტროლისა და მართვის საქმეში:

- ელექტროენერგიის გადაცემისა და განაწილების მართვა;
- ელექტროენერგიის წარმოების მართვა;
- სამრეწველო საწარმოების ელექტრომომარაგების მართვა;
- ელექტროენერგიის პარამეტრების კონტროლი;
- სამრეწველო საწარმოებისა და დაწესებულებების მიერ მოხმარებული ელექტროენერგიის აღრიცხვის კონტროლი;
- ელექტროენერგიის ხარისხის კონტროლი;

სისტემა SCADA-ს სტრუქტურა და ფუნქციონალური შესაძლებლობები საშუალებას იძლევა იგი გამოყენებული იქნეს როგორც ენერგოდაზოგი ნატურების მახასიათებლების, ასევე ელექტროენერგიის ხარისხის კვლევის საქმეში.

ელექტროქსელის პარამეტრების გაზომვა და მათი რიცხვითი მნიშვნელობების მიღება ხორციელდება N14 (ნახ.6.-ა) და N20 მოწყობილობებით (ნახ.6-ბ.)



ა)



ბ)

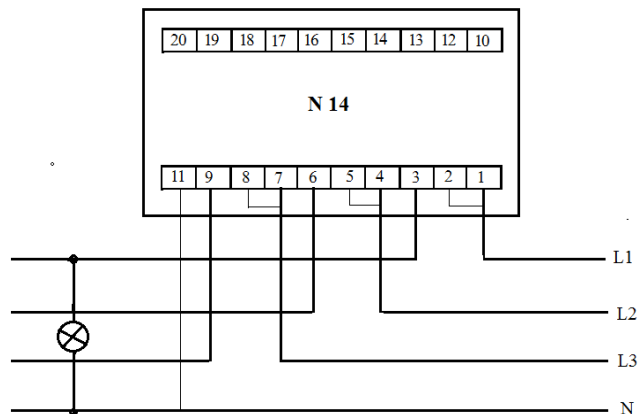
ნახ.6. პროგრამირებადი ციფრული მოწყობილობები: ა- N14; ბ- ND20

ეს მოწყობილობები ქსელში ირთვება როგორც პირდაპირ, ასევე დენისა და ძაბვის ტრანსფორმატორების გამოყენებით და განკუთვნილია როგორც ერთფაზა, ასევე სამფაზა ელექტროქსელის პარამეტრების გაზომვის, ასახვისა და ციფრული გადაცემისთვის. გამოკვლევების ჩატარებისათ-

ვის ჩვენს მიერ აღებული იქნა N14 მოწყობილობა, რომელიც განკუთვნილია 1 ა-მდე დატვირთვის პირდაპირი ჩართვისათვის.

ამ მოწყობილობის სამფაზა ოთხსადენიან ქსელში ჩართვის სქემა წარმოდგენილია ნახ.7-ზე.

თითოეული ნათურის გამოკვლევების ჩატარების პროცესში ჩვენ გამოვიყენეთ ფაზა-ნულში ნათურების ჩართვის სქემა. სადაც დავადგინეთ თითოეული ტიპის ნათურის მიერ მოხმარებული აქტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრეები, სიმძლავრის კოეფიციენტი. ამ ნათურების დატვირთვით გამოწვეული დამახინჯების სიმძლავრეები. გამოვიკვლიეთ სხვადასხვა ტიპის ნათურების ქსელში ერთდროულად ჩართვის შემთხვევაში ჯამური დამახინჯების სიმძლავრისა და სიმძლავრის კოეფიციენტის მნიშვნელობების ცვლილების ხასიათი.



ნახ.7. N14 მოწყობილობის სამფაზა ოთხსადენიან ქსელში ჩართვის სქემა

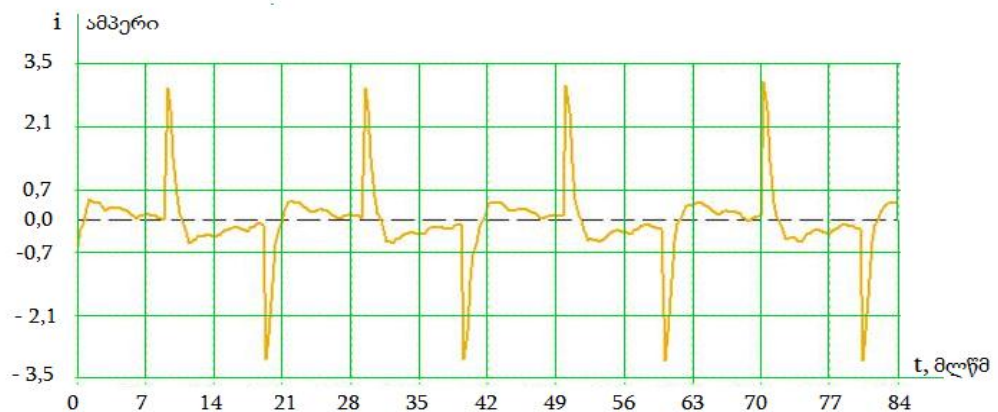
გაზომვის სისტემაში მაღალი ძაბვის მხარეზე პარამეტრების გასაზომად გამოიყენება მოწყობილობა ND20 ეს მოწყობილობა ასევე განკუთვნილია სამფაზა ელექტროქსელის პარამეტრების გაზომვის, ასახვისა და ციფრული გადაცემისათვის. მას N14-თან შედარებით ახასიათებს შემდეგი უპირატესობები

- მაღალი სიზუსტე;
- დენისა და ძაბვის ჰარმონიკების, THD გაზომვის შესაძლებლობა.

ნაშრომის მეხუთე თავში წარმოდგენილია პრაქტიკული ექსპერიმენტების შედეგები სხვადასხვა სინათლის წყაროებისათვის.

კომპაქტურ ლუმინესცენციურ ნათურებზე ფართოდ გადასვლის ეფექტურობა ერთი შეხედვით სრულიად ცხადია. რადგან მათ დაახლოებით 5-6-ჯერ მეტი სინათლის გაცემა და 5-10-ჯერ მეტი მუშაობის ხანგრძლივობის ვადა აქვთ, ვიდრე ვარვარა ნათურებს. მაგრამ ახლო განხილვის დროს ყველაფერი ასე მარტივად არ არის ამ ნათურებს გააჩნიათ მთელი რიგი სერიოზული ნაკლოვანებები.

ცნობილია, რომ ისინი წარმოადგენენ ქსელში არასინუსოიდურობის მძლავრ წყაროებს. ნახ.8-ზე წარმოდგენილია კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურის დენის გრაფიკი. არაწრფივობის ძალით მათი მახასიათებლების არაწრფივობის ძალითა და ფუნქციონირების თავისებურებებით ისინი გენერირებენ ქსელში მესამე და სხვა მთელ რიგ კენტი რიგის დენისა და შესაბამისად ძაბვის ჰარმონიკებს, რასაც მივყავართ მთელ რიგ სერიოზულ ნეგატიურ შედეგებამდე, განსაკუთრებით იმ შემთხვევებში, თუ ასეთი ნათურების წილი ქსელის საერთო მოხმარებაში მნიშვნელოვანია.



ნახ.8. ნათურის დენის გრაფიკი.

ამიტომ კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების მასიური გამოყენების შესახებ გადაწყვეტილების მიღება ისე, რომ არ განვიხილოთ ალტერნატიული ვარიანტები თითოეულ დარგში მათი გამოყენების შესახებ მიგვაჩნია ნაჩქარევად, ტექნიკურად და ეკონომიურად დაუსაბუთებლად.

კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების მახასიათებლებისა და ელექტროენერგიის ხარისხის გამოკვლევის მიზნით ჩვენს მიერ კვლევები ჩატარებული იქნა როგორც სხვადასხვა ფირმების მიერ წარმოებულ ცალკეულ ნათურებზე, ასევე ნათურების ჯგუფზე. საკვლევ ობიექტად შერჩეული იქნა ქვემოთ ჩამოთვლილი კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურები (ნახ.9): Navigator (სიმძლავრით 11, 15, 20 ვტ), Toshiba (25 ვტ), Volpe (20 ვტ), Ecola (20 ვტ), IEK (11 ვტ), Uniel (9 ვტ), Feron (11 ვტ).



ნახ.9. კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურები: ა- Navigator; ბ- Toshiba; გ-Volpe; დ-Ecola; ე- IEK; ვ- Uniel; ზ- Feron ფირმის.

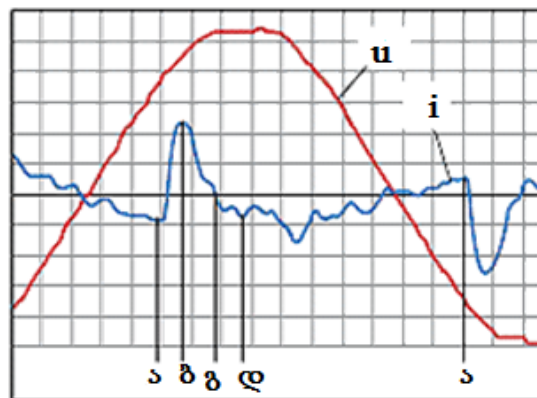
ცხრილი 1-ში მოყვანილია სხვადასხვა სიმძლავრის ნათურების გაზომვის შედეგები, რომლებიც შესრულებულია სისტემა SCADA-ს გამოყენებით.

ცხრილი 1. სხვადასხვა ნათურების სიმძლავრეთა გაზომვის შედეგები

N	ნათურის ტიპი და მწარმოებელი ქვეყანა	საპასპორტო სიმძლავრე, P _{ნომ.} ვტ	გაზომილი სიმძლავრე, ვტ	ნომინალური სიმძლავრის %
1	Navigator (ჩინეთი)	20	12	60
2	Toshiba (იაპონია)	25	20	80
3	Volpe	20	17	85
	Ecola	20	16	80

4				
5	IEK	11	9	82
6	Uniel	9	8	88
7	Feron	11	8	72
8	Navigator (20 ვტ) + Toshiba (25 ვტ) + Uniel (9 ვტ)	$20+25+9 = 54$ ვტ	50	92 %

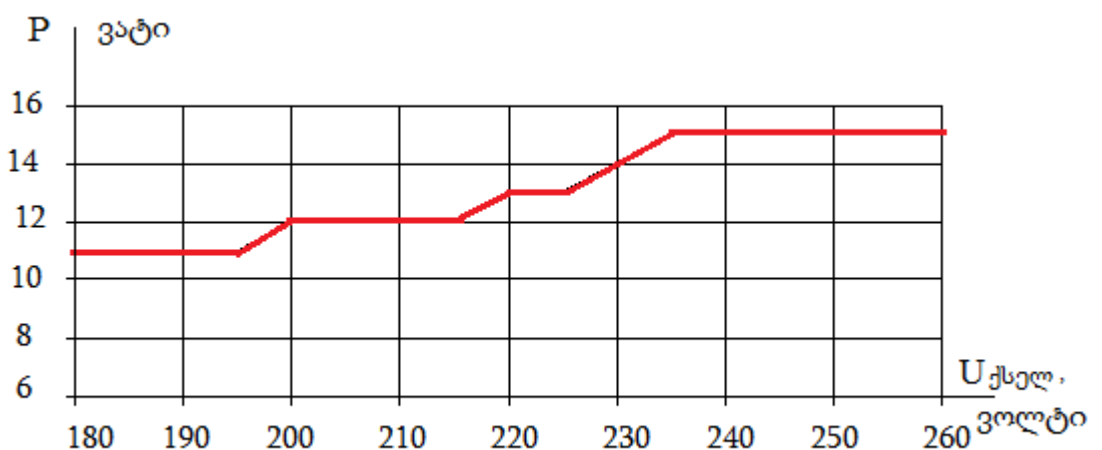
გაზომვებმა გვიჩვენეს შთამბეჭდავი შედეგები. ამ გაზომვების თანახმად ცალკე აღებული კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურა მოიხმარს უფრო ნაკლებ ელექტროენერგიას, ვიდრე ნაჩვენებია მწარმოებლის მიერ, ანუ ვარგარა ნათურასთან შედარებით მოიხმარს არა 5-ჯერ არამედ 6-8-ჯერ ნაკლებ აქტიურ ელექტროენერგიას. ნახ.10-ზე მოყვანილია ნათურის დენის ოსცილოგრამის ერთი ნახევარპერიოდი. მრუდის ფორმა მხოლოდ ცალკეულად მოგვაგონებს სინუსოიდას. ამ დროს ნათურის დენი შეიცავს მე-2, მე-3, მე-5 და ა.შ. ჰარმონიკების მნიშველოვან პროცენტს. ეს ჰარმონიკები ახდენენ გავლენას ხელსაწყოთა ჩვენებებზე მოხმარებული ელექტროენერგიისა და სიმძლავრის სიდიდის შემცირების მხარეს.



ნახ.10. 15 ვტ სიმძლავრის Navigator-ის ფორმის მანქანისა და დენის ოსცილოგრამა

ნახ.10 ოსცილოგრამაზე შეიძლება გამოვყოთ უბნები: სადაც ხდება აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების მოხმარების ზრდა („ა-ბ“ უბანი), სადაც ხდება რეაქტიული ენერგიის გაცემა და აქტიური სიმძლავრის მოხმარების ნულამდე შემცირება („ბ-გ-დ“ უბანი). „ა-ბ“ უბანზე ქსელიდან ერთდროულად ხდება კვების ბლოკის კონდენსატორის დამუხტვა და კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურის დატვირთვის კვება. „ბ-გ-დ“ უბანზე დამუხტული კონდენსატორი ქსელის მიმართ იქცევა ისე როგორც ტევადობა - აქ დენის ვექტორი წინ უსწრებს ძაბვის ვექტორს. ძაბვა კონდენსატორზე რაღაც დროის განმავლობაში აღმოჩნდება ქსელის ძაბვაზე მეტი და ქსელიდან მოხმარებული დენი ეცემა ნულამდე. დაწყებული ამ უბნიდან კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურის დატვირთვა ენერგიას იღებს კონდენსატორიდან იმ მომენტამდე, სანამ ძაბვა მასზე გახდება მზარდ ქსელის ძაბვაზე ნაკლები (წერტილი „ა“ შემდგომ ნახევარპერიოდში).

უბანი „დ-ა“ მრიცხველისათვის წარმოადგენს დამამუხრუჭებელს, რადგან ამ უბანზე დენისა და ძაბვის ვექტორები მიმართულია ერთმანეთის საწინააღმდეგოდ. ამით შეიძლება აიხსნას მრიცხველის ჩვენების შემცირება.

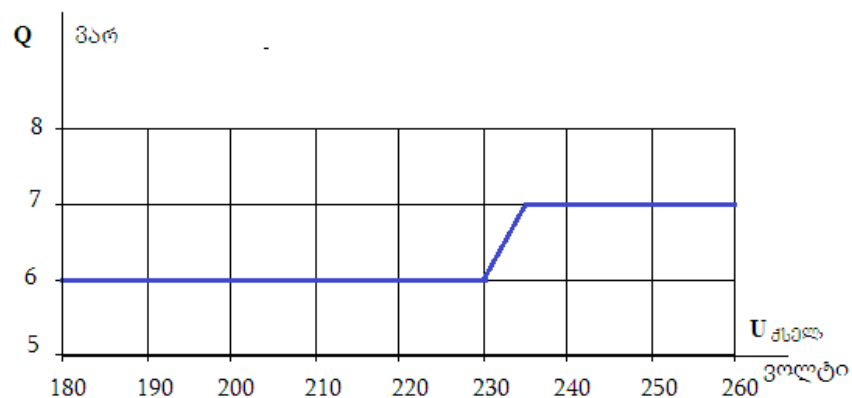


ნახ.11. 15 ვტ სიმძლავრის Navigator-ს ფირმის ნათურის აქტიური სიმძლავრის დამოკიდებულება ქსელის ძაბვაზე

ნახ.11-ზე წარმოდგენილია 15 ვტ სიმძლავრის Navigator-ის ფირმის ნათურის აქტიური სიმძლავრის დამოკიდებულება ქსელის ძაბვაზე. კვლევის შედეგიდან შეიძლება გავასკვნათ, რომ ამ ნათურის აქტიური

სიმძლავრე 220 ვ ძაბვის დროს არ შეესაბამება მწარმოებლის მიერ გამოცხადებულ ნომინალურ სიმძლავრეს. ანალოგიური შედეგები იქნა მიღებული დანარჩენი ნათურების გამოკვლევებისას. მწარმოებლის მიერ გამოცხადებული სიმძლავრიდან გადახრა მერყეობდა $\pm (1\div 6)$ ვტ-ის ფარგლებში.

მიღებული შედეგებიდან ასევე შეიძლება დავასკვნათ, რომ კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურები მუშაობენ რეაქტიული სიმძლავრის გენერაციის რეჟიმში. გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე 220 ვ ძაბვის დროს მწარმოებლისა და ნათურის სიმძლავრეზე დამოკიდებულების მიხედვით შეადგენს მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრის (33÷50) %-ს (ნახ.12).

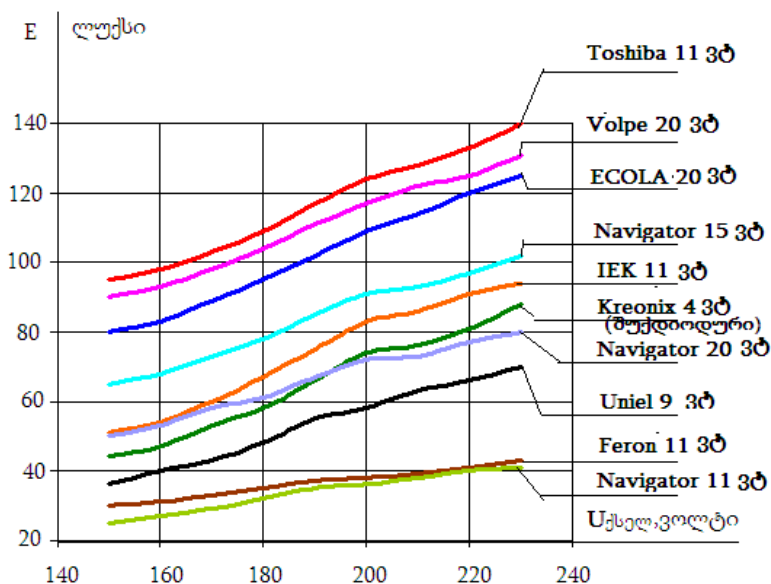


ნახ.12. 15 ვტ სიმძლავრის Navigator-ს ფირმის ნათურის რეაქტიული სიმძლავრის დამოკიდებულება ქსელის ძაბვაზე

ამასთან დაკავშირებით დიდი მნიშვნელობა აქვს ენერგოდამზოგი ნათურების გამოყენებას რეაქტიული სიმძლავრის განაწილებულ წყაროდ, მაქსიმალურად მიახლოებული რეაქტიული სიმძლავრის მომხმარებლისათვის, რაც საშუალებას მოგვცემს:

- განიტვირთოს მკვებავი ქსელი რეაქტიული სიმძლავრისაგან;
- შევამციროთ ქსელში ძაბვის ვარდნები, ასევე აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები საკაბელო ხაზებსა და ტრანსფორმატორებში.
- გავზარდოთ საკაბელო ხაზებისა და ტრანსფორმატორების გამტარუნარიანობა.

აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების ძაბვაზე დამოკიდებულების გამოკვლევის შემდეგ ჩატარებული იქნა კვლევითი სამუშაოები მუშა ზედაპირის განათებულობის დასადგენად. კვლევის შედეგები წარმოდგენილია ნახ.13-ზე.



ნახ.13.ნათურების მუშა ზედაპირის განათებულობის მრუდები.

როგორც ნახ.13-დან ჩანს, რომ ერთი და იგივე ნომინალური სიმძლავრის კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურის მიერ მუშა ზედაპირის განათებულობა ერთმანეთისაგან განსხვავებულია და დამოკიდებულია მწარმოებელზე.

უნდა აღინიშნოს, რომ მაგალითად ერთი და იგივე 20 ვტ სიმძლავრის შემთხვევაში ყველაზე კარგი განათებულობა აქვს Volpe-ს ფირმის ნათურას, რომლის განათებულობა 1,5-ჯერ აღემატება იმავე სიმძლავრის Navigator -ის ფირმის ნათურის განათებულობას.

ნახ.13-ზე შედარებისათვის წარმოდგენილია 4 ვტ სიმძლავრის Kreonix ფირმის შუქდიოდური ნათურის განათებულობა, რომელიც აღმატება 20 ვტ-იანი Navigator -ის, 11 ვატ-იანი Feron -ის და 9 ვტ-იანი Uniel-ის ფირმის ნათურების განათებულობას.

ნაშრომში ასევე წარმოდგენილია ძაბვისა და დენის n -ური რიგის ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტის K_u -ს განაწილება პირველი ჰარმონიკის %-ში.

მიღებული შედეგების თანახმად ძაბვისა და დენის ჰარმონიულ მდგენელებში სჭარბობს კენტი რიგის ჰარმონიკები. განსაკუთრებით დამახინჯებულია დენის მრუდი. მესამე ჰარმონიკის სიდიდე აღწევს დენის პირველი ჰარმონიკის 74 %-ს. მე-5, მე-7 და მე-9 ჰარმონიკებს ასევე გააჩნიათ არსებითი მნიშვნელობები და აღწევენ დენის პირველი ჰარმონიკის $(35 \div 50)$ %-ს. ძაბვის მესამე ჰარმონიკის სიდიდე 0,38 კვ ქსელში არ აღემატება ნორმალურად დასაშვებ მნიშვნელობას - 5 %-ს. მაგრამ ტენდენცია იწვევს საშიშროებას, კერძოდ, სამის ჯერადი ჰარმონიკები ფაზით ერთმანეთს ემთხვევიან, ქმნიან ნულოვანი თანმიმდევრობის სისტემას და იკრიბებიან ნეიტრალურ სადენში, რის გამოც ნეიტრალში გამავალმა საერთო დენმა შეიძლება გადააჭარბოს ფაზურ დენებს და გამოიწვიოს ნეიტრალური სადენის გადატვირთვა.

ვარვარა ნათურების შეცვლამ კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურებით წარმოშვა მათი გამოყენების ეკონომიურად მიზანშეწონილობის პრობლემა.

ვარვარა ნათურების შეცვლა კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურებით მნიშვნელოვნად ამცირებს ელექტროენერგიის მოხმარებას და შესაბამისად ელექტროენერგიის გადასახადს. მაგრამ კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურები მნიშვნელოვნად ძვირია ვარვარა ნათურებზე. გაანგარიშებისა და ანალიზის საუძველზე დადგენილია, რომ მოსახლეობისათვის ლუმინესცენციური ნათურების შეცვლა კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურებით უმრავლეს შემთხვევაში ეკონომიურად არამომგებიანია. ასევე არამომგებიანია მათი გამოყენება ისეთ საწარმოო შენობებში, სადაც განათების ჩართვა იშვიათად ხდება. მოსახლეობის ეკონომიური დაინტერესება მოხდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ კომპაქტური ლუმინესცენ-

ციური ნათურების ღირებულება მკვეთრად შემცირდება. ეს კი მოხდება ნათურების წარმოების გაფართოებით.

ამავე თავში წარმოდგენილია ასევე ქ. გორის გარე განათებისათვის შუქდიოდური ნათურების პრაქტიკული გამოყენების მაგალითი, რომლის საექსპერტო დასკვნა გაკეთებული იქნა დისერტანტისა და მისი ხელმძღვანელის, პროფ.თ.მუსელიანის მიერ, და რომელმაც მოიტანა მნიშვნელოვანი ენერგოეფექტი.

დასკვნები.

1. დადგენილია, რომ ვარვარა ნათურებისა და სხვა დაბალეფექტური სანათების შეცვლა წარმოადგენს ბაზისურ ენერგოდამზოგ ღონისძიებას.

2. არაადეკვატურმა განათებამ შეიძლება მიგვიყვანოს არა მარტო ელექტროენერგიის დანაკარგებთან, არამედ პერსონალის ჯანმრთელობისა და ფსიქოლოგიური მდგომარეობის ნეგატიურ ეფექტებამდე, რომლებიც მოიცავს თავის ტკივილს, სტრესსა და მომატებულ სისხლის წნევას.

3. ვარვარა ნათურის ენერგოდამზოგი ნათურით შეცვლისათვის საჭიროა შევირჩიოთ ენერგოდამზოგი ნათურებიდან (აირგანმუხტვის, გოგირდიანი, შუქდიოდური) ერთ-ერთი, რომლის სინათლის ნაკადის საპასპორტო მონაცემი ტოლი იქნება ვარვარა ნათურის.

4. გაშლილი ჩანაცვლების სქემის საფუძველზე შედგენილია დაბალი ძაბვის ქსელის მათემატიკური მოდელი სქემის ელემენტების გათვალისწინებით. რომლითაც ელექტრული ქსელის ნებისმიერ დატვირთულ კვანძში შეიძლება განისაზღვროს ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების მექანიზმი.

5. ელექტროენერგიის მონიტორინგის სისტემა SCADA-ს გამოყენებით დადასტურებული იქნა კონკრეტულ ობიექტის ელექტრულ ქსელებში დამახინჯების სიმძლავრის არსებობა. განსაზღვრული იქნა ამ დამახინჯების სიმძლავრის სიდიდე და ამ სიმძლავრით გამოწვეული აქტიური სიმძლავრისა და ელექტროენერგიის თვითური დანაკარგები მკვეთრად ელექტრულ ქსელში.

6. ელექტრული წრედების თეორიის საფუძველზე მიღებული იქნა ძაბვისა და დენის ფურიეს მწრივად დაშლის შედეგების საფუძველზე დამახინჯების სიმძლავრის გასაანგარიშებელი გამოსახულება, სრული აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების წინასწარი განსაზღვრის გარეშე, რაც საშუალებას იძლევა ელექტრულ წრედში დამახინჯების სიმძლავრე განისაზღვროს პირდაპირ ძაბვისა და დენის ოსცილოგრამებიდან ფურიეს მწკრივად დაშლის შედეგების მიხედვით.

7. დადგენილია, რომ SCADA სისტემის მახასიათებლები და გამოყენების უნივერსალურობა განაპირობებს მის აქტიურ გამოყენებას მრეწველობის სხვადასხვა დარგებში. ამ სისტემების გამოყენა ასევე შესაძლებელია სამეცნიერო კვლევებისათვის.

8. ჩატარებული გაანგარიშებებიდან დადგინდა, რომ მოსახლეობისათვის ლუმინესცენციური ნათურების შეცვლა კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურებით უმრავლეს შემთხვევაში ეკონომიურად არამომგებიანია.

9. დადგენილა, რომ მხოლოდ არსებული სანათების შეცვლა შუქდიოდური სანათებით 61%-ით ამცირებს მოთხოვნილ აქტიურ სიმძლავრესა და შესაბამისად მოხმარებული ელექტროენერგიის რაოდენობას.

Summary

At the given stage, the problem of energy conservation is one of the urgent problems of the development of power industry and national economy as a whole, since saved energy is by more than an order cheaper than newly-generated one.

Direct saving consists not only in the electric power saving, but it also includes useful life of energy-saving light bulbs. To analyze, develop and apply technical equipment and activities in the field of energy conservation, it is necessary to take account of all components of electric power losses as well as their causes, particularly, the current and voltage unsmoothness.

The current and voltage unsmoothness in energy supply, first of all is associated with the number of the domestic electrical receivers having non-linear loads and with the increase of the installed capacity.

Such a current waveform significantly is very different from the standard sinusoidal shape and comprises the spectrum of higher harmonics that negatively impacts on the power system parameters, electric power quality and operating conditions of other electrical receivers.

Since the introduction of semiconductor technologies in lighting engineering there was started the development of light-emitting diode light sources, which are characterized by the electronic starting-regulating equipment with non-linear volt-ampere characteristics. The problem of electric power quality is conditioned by the influence of current higher harmonics components on the operation of energy supply systems of customer.

Chapter 1 of dissertation dwells on the results of literature review, which first of all contains the general data on the lighting systems. There are numerous different lighting systems, which differ from one another by their purpose, functioning principle, technical characteristics and efficiency. There is given brief description of the most common lighting systems.

Based on the analysis of data of literature review, it has been determined that replacement of incandescent light bulbs and other low-efficient lamps is a basic energy-saving measure.

Chapter 2 deals with the methodology for assessment of the efficiency of replacing the low-efficient lamps and light bulbs by the energy-saving bulbs.

The presence of the excessive various high-efficient light bulbs in the market causes the necessity of developing the methodology for assessment of the efficiency of replacing the low-efficient lamps and light bulbs by the energy-saving bulbs, which will enable us to assess both the natural positive effect and financial effect as well. There are shown the basic conditions, which must be fulfilled when developing the methodology for assessment of the efficiency of replacing the lamps and light bulbs by the energy-saving bulbs.

Chapter 3 describes the modes of networks with low-voltage non-linear loads, distortion powers and the issues of their analysis.

In recent years, the problem of electric power quality in the low-voltage electrical circuits has become of essential importance. In the modern energy supply systems, this is caused, first of all, by those modern widely applied electrical receivers, which clearly and essentially distort supply-line voltage.

There is described the model of low-voltage network, which in contrast to the well-known models, allows determining the distortion magnitudes of harmonicity of the current and voltage curves on the clamps of the electrical receivers switched on in any point of this simulated network. The calculated magnitudes allow assessing and comparing the levels of current and voltage higher harmonics

in any considering equivalent circuit under of the network component with various versions of the composition of the electrical receivers and its performing.

Based on electric circuit theory, there has been obtained the equation for calculating the power distortion on the basis of the results of dividing the current and voltage into the Fourier series without pre-determination of total active and reactive powers that allows for determining the distortion power in the electric circuit in accordance with the results of dividing into the Fourier series directly from the current and voltage oscilloscope displays.

Chapter 4 of the research dwells on the issues of calculation, control and monitoring of the modes of lighting networks.

If the network has uninusoidality, as an alternative method for calculating the steady-state modes there is proposed the method based on the quadropole theory, which allows for using the so-called “black box” at the place of modeling the complex controlling device. At that moment, the required data are the input and output current and voltage.

There is also presented the SCADA system installed in the power supply systems of Georgian Technical University, which controls eleven parameters of the electric energy in the automatic and continuous mode.

Chapter 5 shows the results of practical experiment for the light sources. There have been determined economic efficiency of various domestic-purpose light bulbs and conformity of characteristics declared by manufacturer to the real ones.

There is also shown the example of a practical use of LED bulbs for exterior lighting, the expert judgement on which is made by the author of this dissertation and her scientific adviser Professor T. Museliani, and which has had a significant effect.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული ლიტერატურა

1. თ.მუსელიანი, ი.ქათამაძე. ენერგოეფექტურობის პრობლემები საქართველოში. მე-2 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. შრომების კრებული. ქუთაისი 2013 წ. გვ.106-111.
2. ქათამაძე ი. დაბალი ძაბვის არაწრფივი დატვირთვის მქონე ქსელების რეჟიმების მოდელირება. საერთაშორისო პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტი“ № 3 (50). 2014წ. გვ. 82-84.
3. თ.მუსელიანი, ი.ქათამაძე, მ.ბახტაძე. არაწრფივი დატვირთვის გავლენა ელექტროენერგიის ხარისხზე. მე-2 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. შრომების კრებული. ქუთაისი 2013 წ. გვ. 24– 28.
4. თ. მუსელიანი, მ. ბახტაძე, ი. ქათამაძე, გ. მუსელიანი. დამახინჯების სიმძლავრე და სიმძლავრის დანაკარგები ელექტრულ ქსელებში. ჟურ. „ენერგია“ №2 (70) 2014 წ. გვ. 28-32
5. თ. მუსელიანი, ი. ქათამაძე, მ. ბახტაძე. დამახინჯების სიმძლავრის განსაზღვრა ძაბვისა და დენის მრუდების ფურიეს მწკრივად დაშლის შედეგების საფუძველზე. ჟურ. „საქართველოს საინჟინრო სიახლეები“. № 4. 2014 წ. გვ 19-26.
6. თ. მუსელიანი, გ. მთვარელიშვილი, ი. ქათამაძე. შუქდიოდური სანათები და მათი გამოყენების პერსპექტივები ქუჩის განათებისათვის. ჟურ. „ბიზნეს-ინჟინერინგი“. №4, 2014 წ. გვ.89-91.